

Physikalische Grundlagen
der zahnärztlichen Materialwissenschaft

– 13 –

Biomechanik 2. Biomechanische
Grundlagen der Implantologie

erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI
3. Dezember 2020.

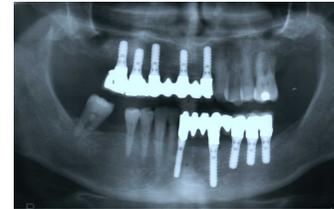
FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

1

Biomechanische Prinzipien des Implantierens

- optimale Kraftverteilung
- minimale Spannungen
- minderung der horizontalen Kräfte
- minderung der Drehmomente
- Kraftdämpfung

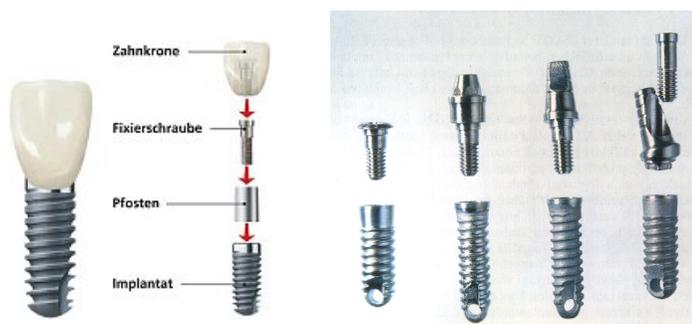


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

2

Schraubenimplantate

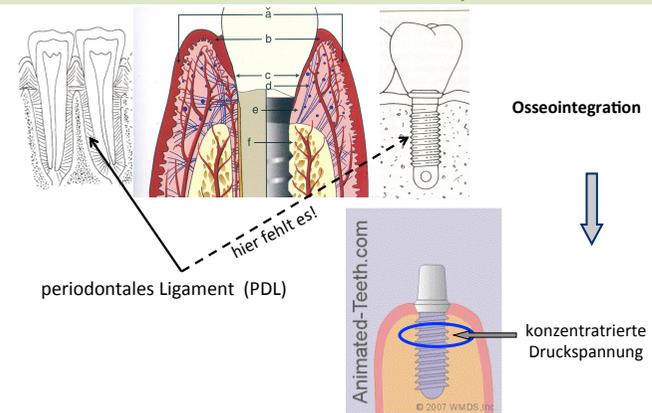


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

3

Kraftübertragung von Implantaten –
Natürlicher Zahn vs. Implantat

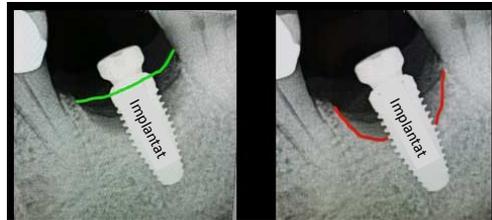


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

4

Ein Problem: Knochenabbau um Implantat



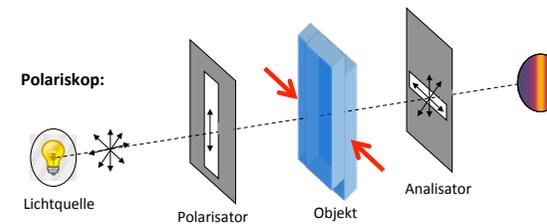
grün: wo Knochen sein sollte rot: Knochenabbau

FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

5

Untersuchungsmethoden der Spannungsverteilung

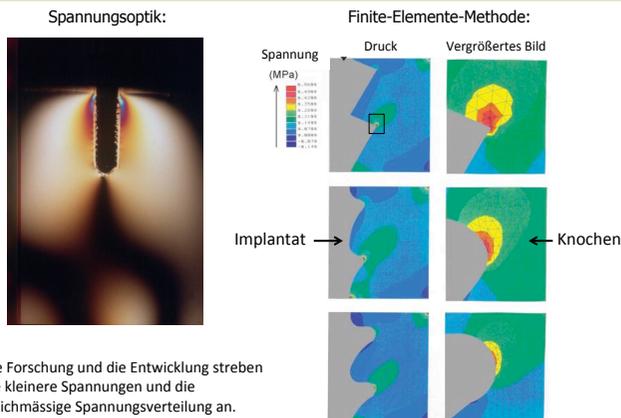


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

6

Spannungen bei Implantaten



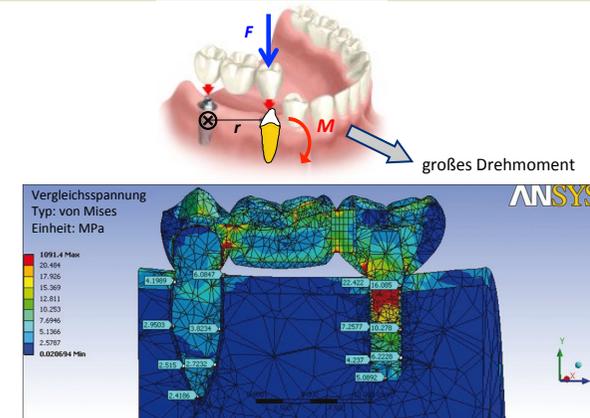
Die Forschung und die Entwicklung streben die kleinere Spannungen und die gleichmässige Spannungsverteilung an.

FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

7

Ein weiteres Problem: das Drehmoment

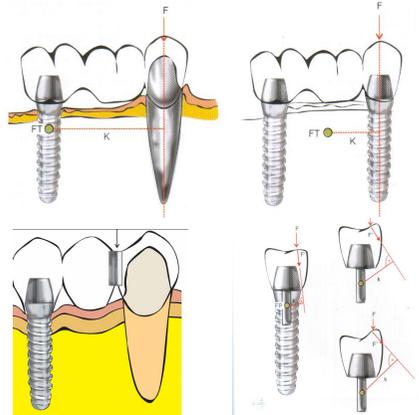


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

8

Minderung der Drehmomente



FAFA_DE 13 | Biomechanik 2. 9

Untersuchung der Stabilität von Implantaten

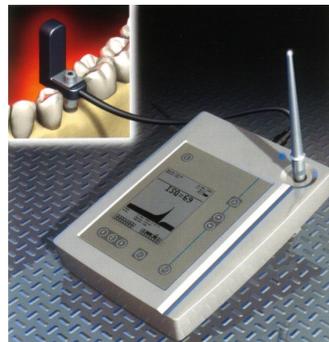
- radiologische Untersuchung
- manuelle Untersuchung
- instrumentelle Untersuchungsmethoden:
 - Resonanzfrequenzanalyse
 - Periotest

FAFA_DE 13 | Biomechanik 2. 10

Resonanzfrequenzanalyse (RFA)

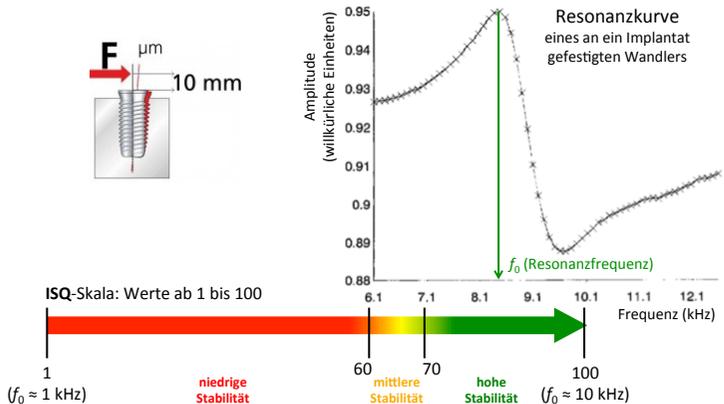
- mithilfe eines Transducers (Wandlers) wird eine periodische Erregungskraft auf das Implantat übertragen \Rightarrow erzwungene Schwingung
- die Resonanzfrequenz wird bestimmt. Die Resonanzfrequenz hängt von der Stabilität des Implantats ab
- eine relative Zahl (ISQ = implant stability quotient) wird gegeben.

Osstell ISQ



FAFA_DE 13 | Biomechanik 2. 11

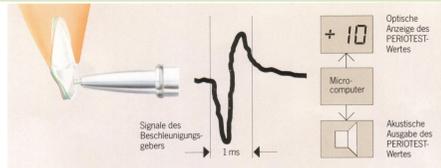
Resonanzfrequenzanalyse (RFA)



FAFA_DE 13 | Biomechanik 2. 12

Periotest

– eine kleine Metallstange wird aus dem Messkopf auf das Implantat geschossen
 – der zeitliche Verlauf des Rückstoßes wird untersucht, und eine relative Zahl wird für die Stabilität gegeben



FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

13

Implantatmaterialien

Metalle



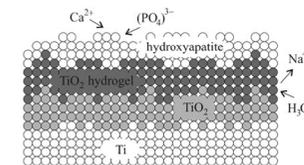
- Titanlegierungen (z.B. Ti-6Al-4V)
- Kobaltlegierungen (Co-Cr-Mo)

Keramiken

- Aluminiumoxid
- Zirkon (Zirkoniumdioxid)
- HAP
- Biogläser



Metalle mit Keramikbeschichtung



FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

14

Titan



- günstige Eigenschaften von Titan:**
- kleine Dichte (4,5 g/cm³)
 - hohe Festigkeit
 - kleine Steifigkeit (Young-Modul)
 - kleine elektrische und Wärmeleitfähigkeit
 - biokompatibel
 - nicht ferromagnetisch → geeignet für MRT-Untersuchungen

| Material | σ_{max} (MPa) |
|--|----------------------|
| Knochen | 100 |
| kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid | ≈ 1700 |
| Stahl | 500 |
| Titan | 430 |
| Aluminiumoxid | 250 |
| PMMA | ≈ 50 |

| Stoff | σ (S/m) |
|--------|------------------------|
| Silber | 6,8 · 10 ⁷ |
| Gold | 4,3 · 10 ⁷ |
| Platin | 0,94 · 10 ⁷ |
| Titan | 0,24 · 10 ⁷ |

| Stoff | λ (W/(m·K)) |
|--------|---------------------|
| Silber | 420 |
| Titan | 22 |
| Glas | 1 |

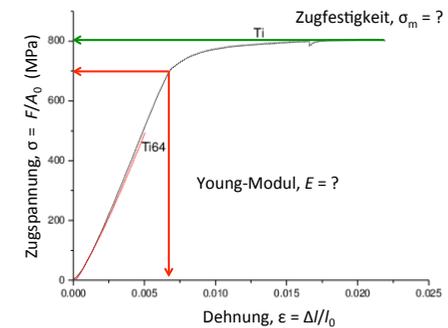


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

15

Titan: Spannungs-Dehnungs-Diagramm

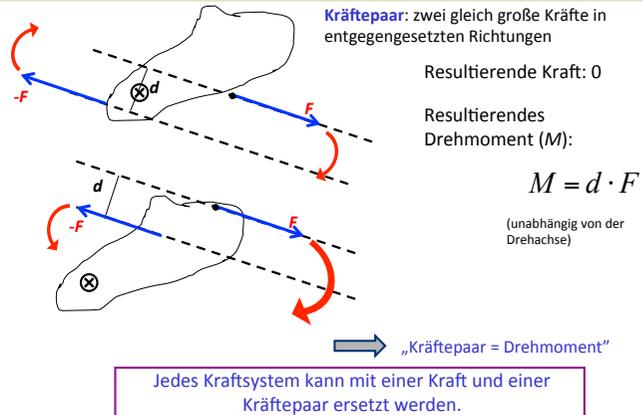


FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

16

Kräftepaar, Ersetzung eines Kraftsystems



FAFA_DE

13 | Biomechanik 2.

17

Zeitrafferfilme



www.youtube.com/watch?v=SBLlct_WLSk ab 0:30
www.youtube.com/watch?v=LWW8qrgjx54 ab 1:00
www.youtube.com/watch?v=sEwqJ1l8ZFQ ab 1:36

FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

19

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialwissenschaft

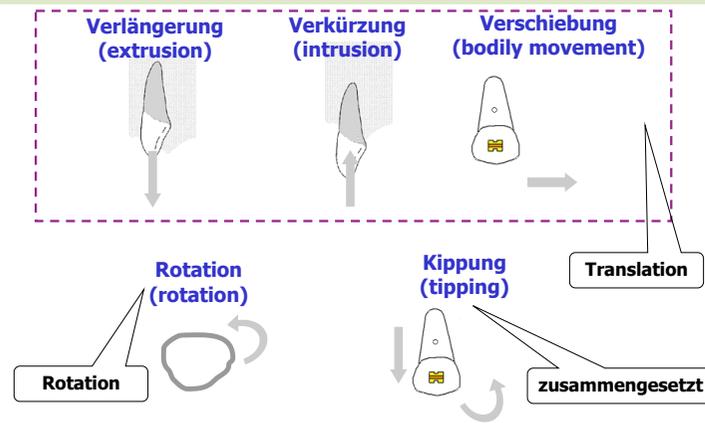
– 13/b –
Biomechanik 3. Physikalische Grundlagen der Kieferorthopädie
 erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI
 3. Dezember 2020.

FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

18

Bewegungsformen

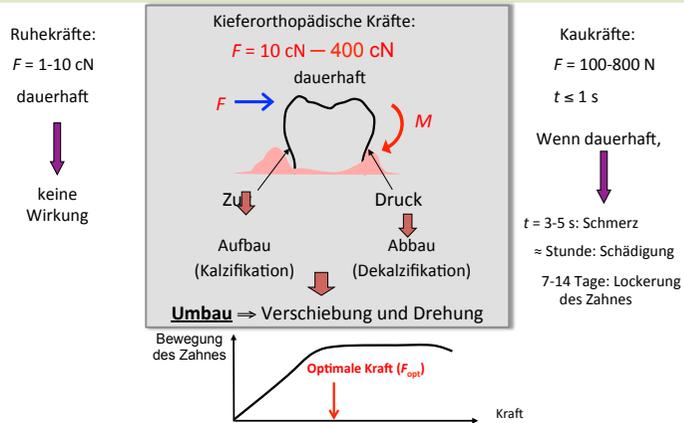


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

20

Mechanismus der Zahnbewegung

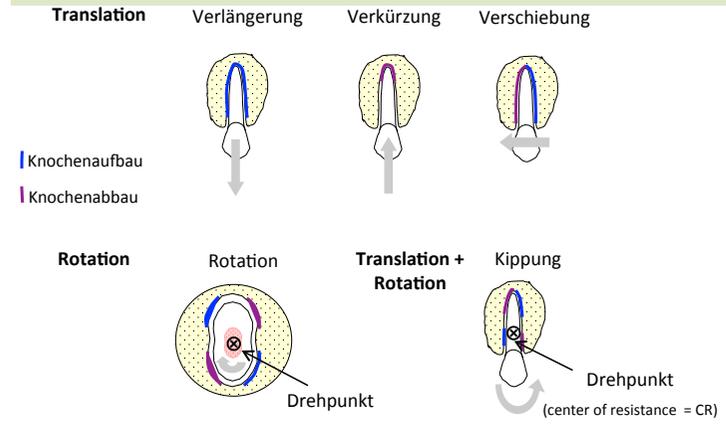


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

21

Mechanismus der Bewegungen

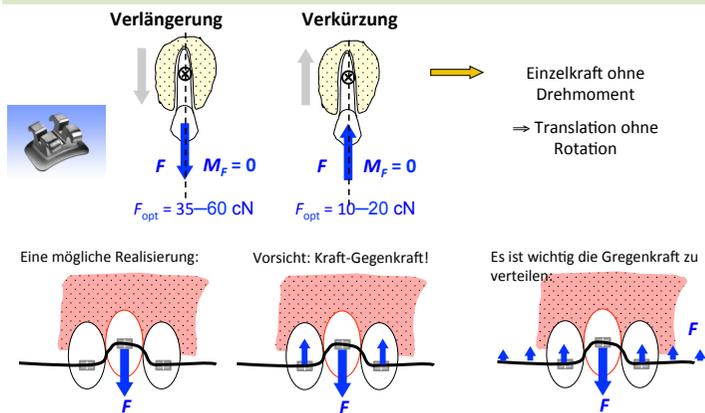


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

22

Kräfte, Drehmomente zur Bewegung

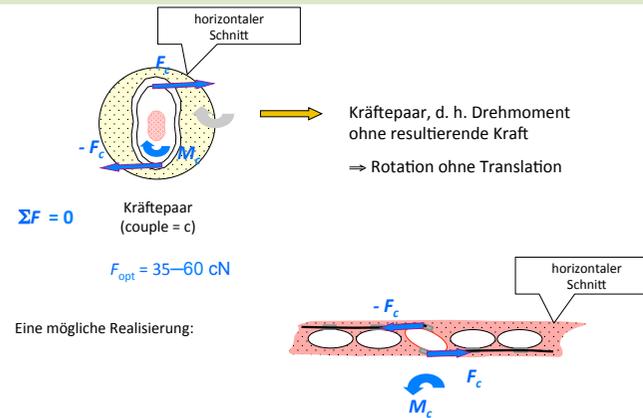


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

23

Rotation

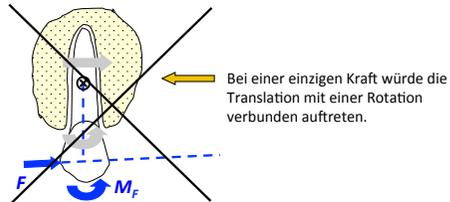


FAFA_DE

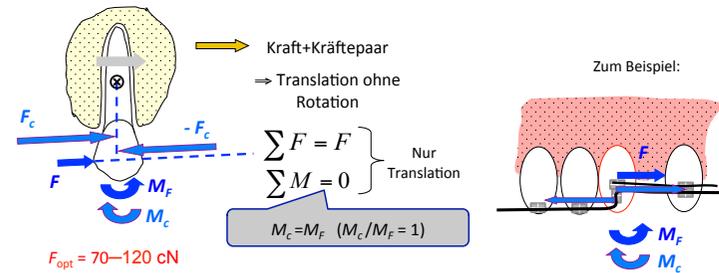
13/b | Biomechanik 3.

24

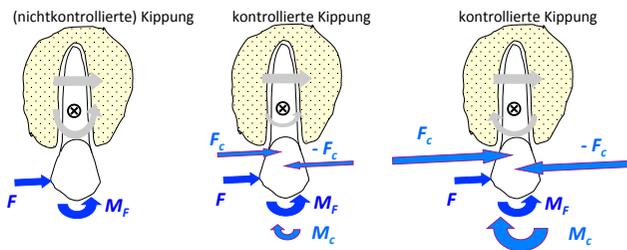
Verschiebung



Verschiebung



Kippung



Kippung

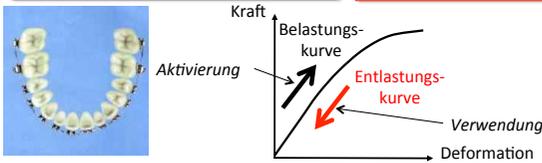
| Kraft | Kräftepaar | $\sum F$ | $\sum M$ | |
|-------|------------|----------|-------------|---|
| ✓ | - | F | M_F | → (nichtkontrollierte) Kippung: Translation + Rotation |
| ✓ | ✓ | F | $M_F - M_c$ | → kontrollierte Kippung: Translation + Rotation |

$F_{opt} = 35-120 \text{ cN}$

- $0 < M_F - M_c \quad (M_c/M_F < 1)$
- $M_F - M_c < 0 \quad (1 < M_c/M_F)$

Kieferorthopädisches Gerät

Das kieferorthopädische Gerät ist ein elastischer Körper, der Kräfte und Drehmomente an die Zähne abgibt, nachdem er aktiviert (deformiert) wurde. Die während der Deformation eingespeiste Energie wird zurückgeliefert („mechanische Batterie“).



- Wichtige Fragen:
- Wie groß ist die abgegebene Kraft – wovon hängt sie ab?
 - Wie lang wirkt die Kraft?

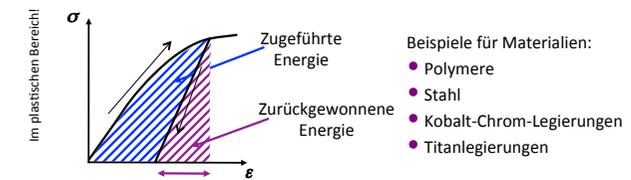
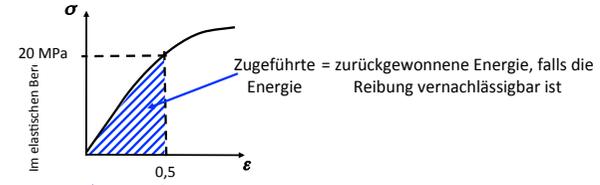
FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

29

Relevante mechanische Eigenschaften

- Materialeigenschaften: Steifigkeit, elastische Rückstellung, elastische Verformungsarbeit



FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

30

Relevante mechanische Eigenschaften

- Geometrie: Form, Größe (z.B. Dicke, Länge, ...)

- Dehnung/Stauchung $F = E \frac{A}{l} \Delta l$ $W = \frac{1}{2} E \cdot \frac{A}{l} \Delta l^2$
- Abbiegung $F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$ $W = \frac{1}{2} 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s^2$
- Torsion $M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$ Steifigkeit des Körpers (Dehnsteifigkeit, Biegesteifigkeit, Torsionssteifigkeit)

Probleme:

- Reibung



Reibungskraft (F_R):

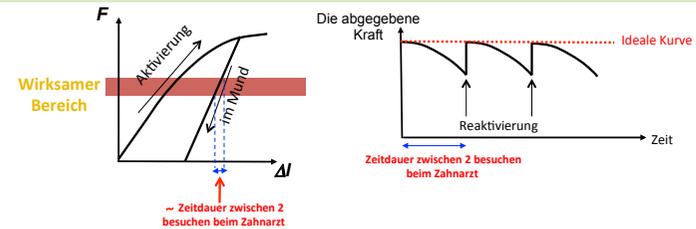
$$F_R = f \cdot F_N$$

FAFA_DE

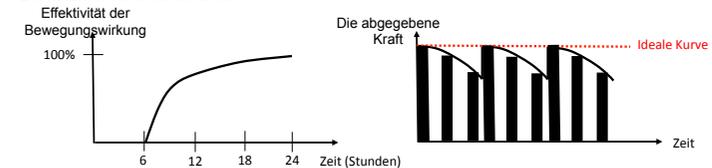
13/b | Biomechanik 3.

31

Die zeitliche Änderung der abgegebenen Kraft



Bei nichtstationären Geräten:

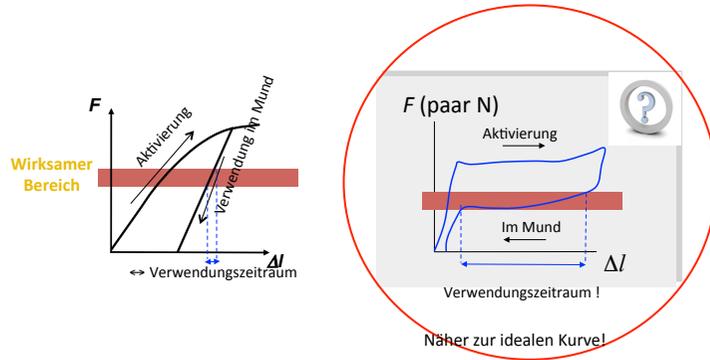


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

32

Die zeitliche Änderung der abgegebenen Kraft

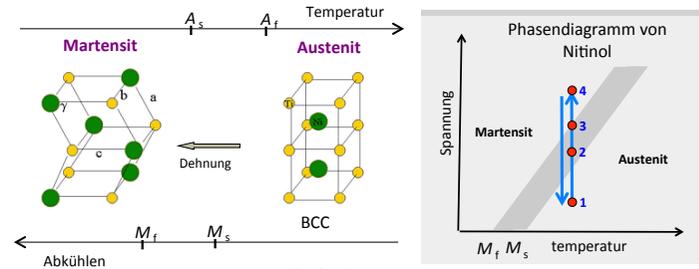


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

33

Nitinol: Phasen



FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

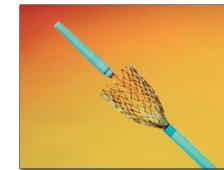
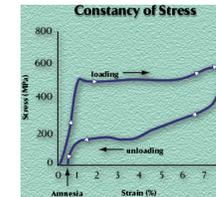
35

Superelastische Stoffe

Ni+Ti Cu+Al+Zn Cu+Al+Ni

Nitinol (Nickel-Titanium Naval Ordnance Laboratory)

superelastisch (pseudelastisch)
Formgedächtnis
biomechanische Kompatibilität
Biokompatibilität

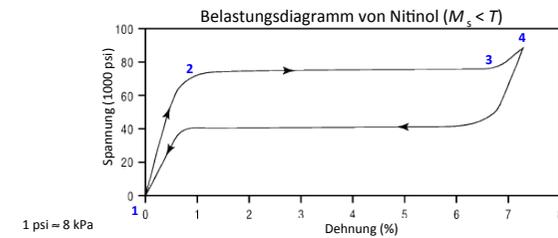


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

34

Nitinol: Belastungsdiagramm

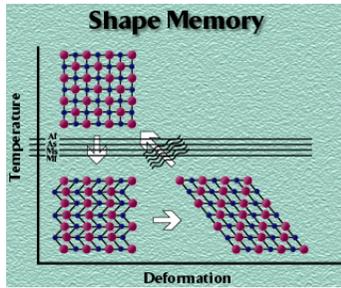


FAFA_DE

13/b | Biomechanik 3.

36

Formgedächtnis



- Einweg-
- Zweiweg-

